



TITLE:

Crystalline properties of gallium oxide thin films epitaxially grown by mist chemical vapor deposition( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Lee, Sam-Dong

---

CITATION:

Lee, Sam-Dong. Crystalline properties of gallium oxide thin films epitaxially grown by mist chemical vapor deposition. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19721>

RIGHT:

許諾条件により本文は2017-01-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	李 三 東
論文題目	Crystalline properties of gallium oxide thin films epitaxially grown by mist chemical vapor deposition (ミスト化学気相法によるエピタキシャル成長酸化ガリウム薄膜の結晶特性に関する研究)		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、安全で省エネルギーの結晶成長技術であるミスト化学気相成長法に関し、デバイス応用技術としての特質を明らかにすることを目的に、最安定相の斜方晶系酸化ガリウム（<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>）および準安定相の三方晶系酸化ガリウム（<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>）について、結晶構造・方位の決定要因、さらに構造制御と伝導度制御に関する研究をまとめたもので、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、持続可能な社会の進展に対して貢献が期待されているパワーデバイスの重要性を概観し、その材料としての酸化ガリウムおよびその成長技術としてのミスト化学気相成長法の有用性を示し、結晶学的特性の制御、電気伝導性の制御、熱的安定性の向上が解決すべき課題であることを指摘して、本研究の目的を明確にしている。</p> <p>第2章では、酸化ガリウムの基本物性とパワーデバイス材料に求められる特性、またミスト化学気相成長法の原理と特徴について述べ、本研究の基礎となる事項と従来の研究の状況についてとりまとめている。また、ミスト化学気相成長法による酸化ガリウムの成長を行うことにより、高性能で安価なパワーデバイスにつながることを指摘して、本研究の意義を明確にしている。</p> <p>第3章では、<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>が立方晶結晶基板上でとる結晶方位とその決定要因を調べ、結晶成長の基本となる機構について述べている。イットリア安定化ジルコニア（YSZ）、酸化マグネシウムなど立方晶結晶基板上では<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>が成長することを見出し、その決定要因として、(111)基板表面における三角形もしくは(110)基板表面における長方形形状といった酸素原子の配列形状が、<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>成長方位の配列形状と一致することが基本となっていることを明確にしている。一方、(100)基板表面においては酸素原子が正方形形状を取り、<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>の酸素原子の配列とは一致しないことを指摘し、その結果、低温で準安定な構造が生じ、高温では安定な<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>が成長することを提言している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	李 三 東
<p>第4章では、<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> 基板上に<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> のホモエピタキシャル成長を行い、結晶性と電気伝導性制御について述べている。<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> 基板上では複数の面方位に対してホモエピタキシャル成長することを実証し、成長膜は基板とほぼ同程度の結晶性であること、スズ（Sn）のドーピングによって <math>10^{18}\sim 10^{21}\text{ cm}^{-3}</math> で n 型キャリア密度制御が可能なことを明確にしている。さらに、移動度は他の成長方法による結果と同等であり、ミスチ化学気相成長法のデバイス応用に向けた優位性を指摘している。</p> <p>第5章では、三方晶構造を持つサファイア基板上における準安定相<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> の成長特性を調べ、その熱的安定性について述べている。サファイア基板上では、<math>470^\circ\text{C}</math> 程度の基板温度で準安定相の<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> が成長すること、さらに <math>600^\circ\text{C}</math> 以上の熱処理で最安定相の<math>\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> への相転移が生じることを明確にしている。また、イオン注入や合金化などのデバイスプロセスを行うには構造の安定化が必要であることを提言している。</p> <p>第6章では、<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> の安定化に対し、極微量の Al を混入する方法を提言し、その効果について述べている。<math>1\sim 2.5\%</math> 程度の Al を<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> に混入させることにより、大きなバンドギャップの変化を生じることなく、<math>750^\circ\text{C}</math> までの安定化が図れることを明確にしている。またこれにより、デバイスプロセスのウィンドウ拡大の効果が得られ、さらにデバイス展開への見通しが得られたことを指摘している。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、研究成果の波及効果および今後の展開について提言を行っている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、安全で省エネルギーの結晶成長技術であるミスト化学気相成長法に関し、デバイス応用技術としての特質を明らかにすることを目的に、最安定相の斜方晶系酸化ガリウム ( $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ) および準安定相の三方晶系酸化ガリウム ( $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ) について、結晶構造・方位の決定要因、さらに構造制御と伝導度制御に関する研究をまとめたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. イットリア安定化ジルコニア (YSZ)、酸化マグネシウムなど立方晶結晶基板上では  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  が成長することを見出した。その決定要因として、(111)基板表面における三角形状もしくは(110)基板表面における長方形形状といった酸素原子の配列形状が、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  成長方位の配列形状と一致することを見出した。一方、(100)基板表面においては酸素原子が正形状を取り、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  の酸素原子の配列とは一致しないことを見出した。その結果、低温で準安定な構造が生じ、高温では安定な  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  が成長することを見出した。
2.  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上では複数の面方位に対してホモエピタキシャル成長することを実証し、成長膜は基板とほぼ同程度の結晶性であること、スズ (Sn) のドーピングによって  $10^{18} \sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  で n 型キャリア密度制御が可能なことを明らかにした。さらに、移動度については他の成長方法による結果と同等であり、ミスト成長法のデバイス応用に向けた優位性を明確にした。
3. 三方晶構造を持つサファイア基板上では、 $470^\circ\text{C}$  程度の基板温度で準安定相の  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  が成長すること、さらに  $600^\circ\text{C}$  以上の熱処理で最安定相の  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  への相転移が生じることを見出した。また、イオン注入や合金化などのデバイスプロセスを行うには構造の安定化が必要であることを提言した。
4.  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  の安定化に対し、極微量の Al を混入することが非常に有用であることを見出した。作製条件の最適化により、大きなバンドギャップの変化を生じることなく、 $750^\circ\text{C}$  までの安定化が図れることを明らかにした。

以上、本論文は、ミスト化学気相成長法による酸化ガリウムデバイスの実現とその応用につながる基盤技術を確立したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年2月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。